



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences

Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2014/074

Région du Québec

Détection des tendances communes dans les abondances d'œufs et de larves de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012

François Grégoire, Linda Girard, Jean-Louis Beaulieu, Jean-Francois Lussier et
Marie-Hélène Gendron

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, Route de la Mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2014
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Grégoire, F., Girard, L., Beaulieu, J.-L., Lussier, J.-F., et Gendron, M.-H. 2014. Détection des tendances communes dans les abondances d'œufs et de larves de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2014/074. v + 34 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUCTION	1
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	1
2.1 SOURCES DES DONNÉES.....	1
2.2 TRAITEMENT DES DONNÉES.....	2
2.3 ANALYSE FACTORIELLE DYNAMIQUE.....	2
2.3.1 Stabilité et robustesse de l'AFD.....	3
2.3.2 Analyse rétrospective	3
3. RÉSULTATS.....	3
3.1 DESCRIPTION DES VARIABLES EXPLICATIVES.....	3
3.2 OEUFS DE POISSON.....	4
3.3 LARVES DE POISSON.....	5
4. CONCLUSION ET DISCUSSION	6
5. REMERCIEMENTS	6
6. RÉFÉRENCES	6
TABLEAUX.....	9
FIGURES.....	24

RÉSUMÉ

L'analyse factorielle dynamique (AFD) a été appliquée aux séries temporelles d'abondance des œufs et des larves de poissons qui ont été récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012. L'AFD est une technique d'analyse de séries temporelles multivariées qui permet de détecter des tendances communes dans la variabilité générale d'une communauté d'espèces et de déterminer les principales espèces qui y sont associées. Lors de cette étude, les modèles d'AFD sélectionnés ont présenté des tendances communes caractérisées par des baisses importantes d'abondance. Dans plusieurs cas, ces baisses étaient associées à des espèces qui ont été commercialement importantes comme la morue (*Gadus morhua*), le sébaste (*Sebastes* spp), le maquereau bleu (*Scomber scombrus*) et la limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*). Des variables environnementales ont aussi été sélectionnées par les modèles d'AFD. Cependant, ces variables n'étaient pas reliées aux espèces associées aux tendances communes.

Detection of the common trends in the fish eggs and larvae abundances sampled in the southern Gulf of St. Laurent between 1983 and 2012

ABSTRACT

Dynamic factor analysis (DFA) was applied to time series abundance of fish eggs and larvae that were collected in the southern Gulf of St. Lawrence between 1983 and 2012. DFA is an analytical technique for multivariate time series that allows the detection of common trends in the overall variability of a species community and the determination of the main associated species. In this study, the DFA models selected have common trends characterized by significant decreases in the abundance. In several cases, these decreases were associated with species that were commercially important such as cod (*Gadus morhua*), redfish (*Sebastes* spp.), Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*), and yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). Environmental variables were also selected by the DFA models. However, these variables were not related to the species associated with common trends

1. INTRODUCTION

L'analyse factorielle dynamique (AFD) est une technique qui permet de détecter les tendances communes qui sont associées à des séries temporelles (Zuur *et al.* 2003a, Ritter et Muñoz-Carpena 2006, Zuur *et al.* 2007). À ce titre, l'AFD s'apparente aux techniques de réduction de certaines analyses multivariées comme l'analyse en composantes principales et le cadrage multidimensionnel non métrique. L'AFD permet d'identifier les séries temporelles qui sont le plus fortement associées aux tendances communes et le cas échéant, les liens entre ces séries et des variables explicatives. Utilisée tout d'abord en économie (Harvey 1989) et en psychologie (Molenaar 1985, Molenaar *et al.* 1992), l'AFD a été appliquée aux données de pêche par Zuur *et al.* (2003b), Zuur et Pierce (2004) et Erzini (2005) puis aux données d'abondance d'espèces marines par Erzini *et al.* (2005), Chen *et al.* (2006), Azavedo *et al.* (2008), Chen (2010), Gaertner (2010), Ligas *et al.* (2011), Grégoire (2013) et Bourassa *et al.* (2013).

Un relevé d'ichtyoplancton (PMZA-maquereau) est réalisé dans le sud du golfe du Saint-Laurent (Division 4T de l'OPANO; Figure 1) depuis 1983. L'un des objectifs visé par la réalisation de ce relevé est le calcul d'un indice de la biomasse reproductrice du maquereau bleu (*Scomber scombrus*) (Grégoire *et al.* 2013). En plus du maquereau, des œufs et des larves d'une vingtaine d'espèces ou de groupes d'espèces de poissons sont aussi récoltés lors de ce relevé. Dans leur ensemble, la plupart de ces espèces ou groupes d'espèces n'ont jamais fait l'objet d'une étude comparative.

Dans le présent document, l'AFD a été appliquée aux séries temporelles d'abondance d'œufs et de larves de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 (Grégoire *et al.* 2013 pour la période 1983–2011; F. Grégoire, données non publiées pour 2012). Le principal objectif était l'identification des tendances communes à l'ensemble de ces séries temporelles d'abondance et des espèces ou groupes d'espèces qui leur sont le plus fortement associés. Un second objectif consistait à explorer les relations possibles entre les séries temporelles d'abondance et cinq variables environnementales.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SOURCES DES DONNÉES

Les données d'abondance d'œufs et de larves de poissons ont été obtenues suite au tri des échantillons de plancton recueillis dans le sud du golfe du Saint-Laurent depuis 1983 (Tableaux 1 et 2). Ces données ont été exprimées en nombre par m² après avoir tenu compte de la fraction triée, du volume (m³) d'eau filtré par les filets à plancton et de la profondeur (m) maximale atteinte par ces derniers. Les critères d'identification des œufs et des larves ont été tirés des travaux de Fritzsche (1978), d'Elliott et Jimenez (1981) et de Fahay (2007a, 2007b). Les œufs de poissons ont été identifiés à l'espèce pour le maquereau bleu, la plie canadienne (*Hippoglossoides platessoides*) et le turbot de sable (*Scophthalmus aquosus*) et par groupe d'espèces pour celles ayant des caractéristiques similaires. Le premier de ces groupes, H4B, comprend les œufs de merlu (*Urophycis* spp.), de motelle à quatre barbillons (*Enchelyopus cimbrius*) et de stromatée à fossettes (*Peprilus triacanthus*) et le second groupe, CHW, les œufs de morue (*Gadus morhua*), d'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) et de plie grise (*Glyptocephalus cynoglossus*). Enfin, le dernier groupe, CYT, comprend les œufs de la tanche-tautogue (*Tautoglabrus adspersus*) et de la limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*). Lors des relevés, les larves de 22 espèces ou groupes d'espèces ont été identifiées dont celles d'espèces commerciales comme le maquereau bleu, le sébaste (*Sebastes* spp.), la limande à queue jaune, le capelan (*Mallotus villosus*) et les poissons plats non identifiés (Pleuronectidae).

À titre exploratoire, cinq variables environnementales ont été testées dans les analyses comme variables explicatives, soit : (1) la température (°C) moyenne de la couche intermédiaire froide (CIF) dans le golfe du Saint-Laurent (Galbraith *et al.* 2013), (2) le volume (km³) de la CIF < 0 °C dans le sud du golfe du Saint-Laurent (Division 4T de l'OPANO) (Gilbert et Pettigrew 1997, Galbraith *et al.* 2013), (3) la température (°C) moyenne (juin) des 10 premiers mètres mesurée aux stations du relevé du sud du golfe (Division 4T), (4) le débit d'eau douce (m³/s) mesuré à la ville de Québec en avril et (5) l'abondance du plancton (ml/m³) échantillonné aux stations du relevé du sud du golfe (Grégoire et McKenzie 2002 pour la période 1983–2000; F. Grégoire, données non publiées pour la période 2001–2012).

2.2 TRAITEMENT DES DONNÉES

La multi-colinéarité des variables environnementales a été examinée puisque l'emploi de variables explicatives hautement corrélées dans l'AFD est fortement déconseillé (Highland Statistics Ltd. 2000). Les séries temporelles d'abondance et les cinq variables environnementales ont été normalisées. Même si les séries normalisées produisent des résultats similaires à celles qui ne le sont pas, la normalisation a été maintenue puisqu'elle facilite l'interprétation des résultats (Zuur *et al.* 2003a).

2.3 ANALYSE FACTORIELLE DYNAMIQUE

L'expression mathématique de l'analyse factorielle dynamique est :

$$y_t = Az_t + Bx_t + e_t$$

où y_t représente le vecteur des valeurs des N séries temporelles d'abondance (variables dépendantes) au temps t , z_t les valeurs des M tendances communes, A la matrice des facteurs de pondération de dimension $[N \times M]$, x_t les valeurs des variables explicatives, B les paramètres de régression de chaque variable explicative et e_t les erreurs de mesures.

La valeur et le signe des facteurs de pondération de la matrice A détermine la force de la relation entre les séries temporelles d'abondance et les tendances communes. Les paramètres de régression de B indiquent quelles sont les variables explicatives qui ont un impact sur le synchronisme des séries temporelles (Nye *et al.* 2010). Les paramètres de régression sont significatifs au niveau de 5 % pour une statistique t (test bilatéral) associée à $n-2$ degrés de liberté où n représente le nombre d'années couvertes par les séries temporelles. Le modèle assume que $e_t \sim N(0, R)$ où R représente la matrice de covariance des erreurs. Deux types de matrices R peuvent être utilisées dans l'AFD : (1) une matrice diagonale ou (2) une matrice non diagonale symétrique. Dans les deux cas, tous les éléments de la diagonale représentent la quantité d'information non expliquée par les tendances communes ou les variables explicatives (Zuur *et al.* 2007). Dans le second cas, les éléments non diagonaux représentent les interactions entre les séries temporelles et les valeurs de la diagonale. La matrice non diagonale symétrique ne peut être utilisée que si le nombre de séries temporelles est inférieur au nombre d'années. Par contre, l'utilisation d'une matrice diagonale peut mener à des tendances communes qui sont reliées à deux ou trois séries temporelles seulement (Zuur *et al.* 2003b). L'AFD permet de traiter les séries relativement courtes (minimum de 15 ans) et peut s'accommoder des données manquantes pour un nombre limité de séries. Dans le cas des variables explicatives, les valeurs manquantes sont remplacées par les moyennes des séries correspondantes (Highland Statistics Ltd. 2000).

Plusieurs modèles d'AFD ont été testés sur les séries temporelles d'abondance d'œufs et de larves de poissons en utilisant la version 2.7.2 du logiciel Brodgar (Highland Statistics Ltd. 2000). Pour le choix du meilleur modèle, Zuur *et al.* (2003a) recommandent l'utilisation du

critère d'information Akaike (AIC). AIC est défini comme étant la différence entre la mesure de l'ajustement (maximum de vraisemblance) et le nombre de paramètres d'un modèle (nombre de tendances et de variables explicatives et structure de R). Comme le suggèrent aussi Zuur *et al.* (2003b), un niveau arbitraire de 0,2 (en valeur absolu) associé aux facteurs de pondération (après rotation) a été utilisé pour déterminer quelles étaient les séries temporelles plus fortement associées aux tendances communes détectées. Le degré de relation entre les séries et les tendances a été évalué à partir de la valeur et du signe des corrélations canoniques (r de Pearson) (Erzini 2005, Doi 2007, Chen 2010). Plus une corrélation est élevée, plus forte est la relation entre la variable correspondante et la tendance. Pour déterminer si une corrélation est statistiquement significative dans cette application de l'ADF, la valeur obtenue a été comparée au seuil critique établi selon le nombre de degrés de liberté (nombre d'années de la série moins 2) pour une probabilité de 0,05. Les paramètres de l'AFD ont été estimés par itération à l'aide de l'algorithme EM (Expectation-Maximization) (Highland Statistics Ltd. 2000). Le nombre maximal d'itérations a été fixé à 25 000. Les processus de calcul devaient se terminer lorsque ce nombre était atteint ou lorsque les changements dans la fonction de vraisemblance de l'algorithme EM passaient sous le seuil de 0,0001.

2.3.1 Stabilité et robustesse de l'AFD

Bourassa *et al.* (2013) ont noté des résultats différents suite à l'utilisation répétée de l'AFD sur les mêmes données. Dans certains cas, ils ont obtenu des tendances et des corrélations inverses même si la conclusion finale demeurerait la même. Ils ont attribué cette instabilité des résultats à la présence de séries n'ayant aucune structure temporelle (stationnaires) ou à des séries comportant un grand nombre de valeurs zéro. En fait, l'algorithme EM peut prendre du temps à trouver le maximum de vraisemblance lorsqu'un modèle demande l'estimation simultanée d'un grand nombre de paramètres (Holmes *et al.* 2014). Bien qu'un grand nombre d'itérations (25 000) ait été utilisé avec un très faible seuil (0,0001), comme l'ont suggéré Bourassa *et al.* (2013) l'AFD des modèles sélectionnés a été répétée à 30 reprises sur les mêmes données. Par la suite, pour identifier les séries temporelles reliées aux tendances communes, les séries ayant des corrélations canoniques significatives dans au moins 60 % des cas ont été sélectionnées (Bourassa *et al.* 2013).

2.3.2 Analyse rétrospective

La stabilité des résultats a aussi été testée à l'aide d'analyses rétrospectives. L'AFD a alors été appliquée sur les séries temporelles d'abondance et les variables explicatives en enlevant à tour de rôle les données de la dernière année. À chaque étape, l'AFD a été appliquée sur tous les modèles à tester. Ces analyses rétrospectives, qui sont couramment utilisées en évaluation de stocks des poissons marins, ont permis de vérifier si les résultats obtenus pour la période 1983–2012 étaient comparables à ceux des périodes précédentes.

3. RÉSULTATS

3.1 DESCRIPTION DES VARIABLES EXPLICATIVES

Les variables environnementales explicatives sont caractérisées par d'importantes fluctuations interannuelles et par des tendances à la hausse ou à la baisse sur quelques années seulement (Figure 2). Par exemple, la température ($^{\circ}\text{C}$) de la couche intermédiaire froide (CIF) a diminué au cours des périodes 1983–1986, 1988–1990, 2000–2003 et 2006–2008 (Figure 2A). Elle a aussi augmenté au cours des périodes 1986–1989, 1994–2000, 2003–2006 et depuis 2008 de sorte que les températures des trois dernières années sont supérieures à la moyenne de la période 1983–2012. Le volume d'eau (km^3) de la CIF de moins de 0°C présente une tendance nette à la baisse entre 1992 et 1999 et la plupart des valeurs mesurées depuis 2000 se situent

sous la moyenne 1983–2012 (Figure 2B). La température (°C) moyenne des 10 premiers mètres mesurée lors des relevés présente une tendance à la baisse entre 1999 et 2005 de même qu'en 2006 et 2011 (Figure 2C). Les années 1990 ont été caractérisées par d'importantes fluctuations interannuelles du débit (m^3/s) d'eau douce (Figure 2D). Après des valeurs relativement stables entre 1999 et 2002, une hausse a été mesurée entre 2003 et 2005 suivie de valeurs qui ont fluctué autour de la moyenne de cette série. Des baisses importantes de l'abondance (ml/m^3) du plancton ont été mesurées entre 2003 et 2005 puis entre 2006 et 2010 (Figure 2E). L'abondance est à la hausse depuis 2010 avec une valeur en 2012 qui se situe au-dessus de la moyenne 1983–2012.

De faibles corrélations ont été mesurées entre la plupart des variables explicatives (Figure 3). Les corrélations les plus élevées, en valeurs absolues et significatives à 0,05, ont été mesurées entre la température de la couche intermédiaire froide et le volume d'eau de la CIF de moins de 0 °C (-0,62) et entre le débit (m^3/s) d'eau douce et l'abondance (ml/m^3) du plancton (-0,40). Comme ces corrélations sont peu élevées et que la force des relations correspondantes semble dépendre de quelques valeurs seulement, il a été convenu d'utiliser toutes les variables explicatives dans les différents modèles d'AFD.

3.2 OEUF DE POISSON

Au total, 63 modèles différents d'AFD ont été appliqués sur les six séries temporelles d'abondance d'œufs et les cinq variables explicatives (Tableau 3). Le meilleur modèle (no. 33), ayant le plus faible AIC, a été obtenu en utilisant une matrice de covariance symétrique et non diagonale et deux variables explicatives, soit : (1) la température (°C) moyenne des 10 premiers mètres, et (2) l'abondance (ml/m^3) du plancton. Ce modèle est caractérisé par la présence d'une seule tendance commune qui présente un déclin depuis le milieu des années 1980 (Figure 4). Pour chacune des séries temporelles, les valeurs observées et ajustées du modèle concordent assez bien à l'exception d'une seule observation pour les groupes CYT et H4B, la plie canadienne (AP) et le turbot de sable (WPA) (Figure 5A). Ces mêmes observations se décèlent aussi à l'examen des résidus qui d'ailleurs ne présentent pas de patrons suggérant une hétérogénéité des variances (Figure 5B). Des facteurs de pondération de plus de 0,2 ont été mesurés pour les œufs de maquereau bleu (AM) et ceux du groupe CHW et de près de 0,2 (en absolu) pour la plie canadienne (Tableau 4; Figure 6). Les séries ayant des facteurs positifs présentent toutes une tendance à la baisse similaire à la tendance commune (Figure 7A) contrairement à celle de la plie canadienne dont le facteur est négatif (Figure 7B). Toutes les corrélations canoniques entre les séries temporelles et la tendance commune sont significatives à l'exception de celles du groupe CYT et du turbot de sable (Tableau 4).

Aucune des régressions entre les séries d'abondance d'œufs et la température (°C) moyenne des 10 premiers mètres n'est significative ($p > 0,05$) (Tableau 4). Seule la série d'abondance des œufs de plie canadienne est corrélée de façon négative à l'abondance du plancton ($p < 0,05$). Les valeurs de la diagonale de la matrice de covariance des erreurs sont relativement élevées ($> 0,7$) pour les séries d'abondance H4B, CYT et le turbot de sable (Tableau 5). Cela suggère que la variabilité temporelle de ces espèces prises individuellement n'est pas très bien représentée par la tendance commune. L'inverse est vrai pour les œufs de maquereau bleu (0,31), du groupe CHW (0,36) et de la plie canadienne (0,43). Cependant, la majorité des valeurs non diagonales (12 sur 15) sont relativement faibles, entre -0,2 et 0,2, ce qui indique que le modèle représente bien la variabilité de l'ensemble des séries d'abondance.

Les 30 réplicats ont produit les mêmes corrélations canoniques entre les séries d'abondance des œufs et la tendance commune (Tableau 6). Des corrélations positives et significatives ont été obtenues dans 100 % des séries d'abondance du maquereau bleu (AM) et des groupes H4B et CHW. Par contre, des corrélations négatives significatives ont été obtenues dans tous

les répliqués de la série d'abondance des œufs de plie canadienne (AP). La tendance commune moyenne associée à tous ces répliqués est présentée au Tableau 7. Lors des analyses rétrospectives, le même modèle à deux variables explicatives a été sélectionné sauf dans le cas de la période 1984–2010 où seule l'abondance du plancton a été retenue. Ces analyses n'ont détecté aucun patron rétrospectif (Figure 8).

3.3 LARVES DE POISSON

Les 63 modèles d'AFD ont aussi été appliqués aux 22 séries temporelles d'abondance de larves de poissons et aux cinq variables explicatives (Tableau 8). Comme pour les séries d'abondance d'œufs, tous les processus de calcul de tous les modèles se sont terminés lorsque les changements dans la fonction de vraisemblance de l'algorithme EM sont passés sous le seuil de 0,0001.

Le meilleur modèle (no. 28) ayant le plus faible AIC a été obtenu à l'aide d'une matrice de covariance symétrique et non diagonale et l'ajout de deux variables explicatives, soit : (1) la température (°C) de la couche intermédiaire froide (CIF), et (2) l'abondance (ml/m³) du plancton. Ce modèle est caractérisé par la présence d'une seule tendance commune qui présente un déclin important entre 1983 et 1995, suivi d'une période de stabilité jusqu'en 2003 et d'une nouvelle période de déclin jusqu'en 2010 (Figure 9). À l'exception de quelques observations, les valeurs observées et ajustées du modèle concordent assez bien (Figure 10A) et le patron des résidus ne suggère aucune hétérogénéité des variances (Figure 10B). Des facteurs de pondération de plus de 0,2 ont été mesurés pour les larves de morue (COD), capelan (CAP), limande à queue jaune (YEL), maquereau (MAC) et sébaste (RED) (Tableau 9; Figure 11). Des corrélations canoniques significatives ont été mesurées entre les séries d'abondance de ces espèces et la tendance commune de même qu'avec les séries du hareng (*Clupea harengus*) (AH) et de la sigouine de roche (*Pholis gunnellus*) (RG) (Tableau 9). Les séries ayant des corrélations canoniques positives présentent toutes une tendance à la baisse entre 1983 et le milieu des années 1990 et entre 2005 et 2010 (Figure 12A). Un patron inverse est observé pour les séries ayant des corrélations canoniques négatives (Figure 12B).

Quatre espèces présentent des régressions significatives ($p < 0,05$) avec la température (°C) de la couche intermédiaire froide (CIF), soit : (1) la tanche-tautogue (CUN; positive), (2) les limaces (*Liparis* spp.) (SN; négative), (3) la motelle à quatre barbillons (FR; positive), et (4) la plie canadienne (AP; positive) (Tableau 9). Deux régressions significatives ($p < 0,05$) ont été obtenues avec l'abondance du plancton et les séries d'abondance de la sigouine de roche (RG; positive) et de la plie rouge (*Pseudopleuronectes americanus*) (WIN; négative). Les valeurs de la diagonale de la matrice de covariance des erreurs sont relativement élevées ($> 0,5$), à l'exception de la morue (COD) (0,40), la limande à queue jaune (YEL) (0,28) et le maquereau bleu (MAC) (0,43) (Tableau 10). À l'exception de ces trois espèces, la variabilité temporelle de l'abondance des autres espèces prises individuellement n'est pas très bien représentée par la tendance commune. Par contre, la majorité des valeurs non diagonales sont relativement faibles, entre -0,2 et 0,2, ce qui indique que le modèle représente bien la variabilité de l'ensemble des séries d'abondance.

Les 30 répliqués ont produit relativement les mêmes corrélations canoniques entre les séries d'abondance des larves et la tendance commune (Tableau 11). Des corrélations positives et significatives ont été obtenues dans 100 % des cas pour la morue (COD), le capelan (CAP), la sigouine de roche (RG), la limande à queue jaune (YEL), le maquereau bleu (MAC) et le sébaste (RED) et dans 97 % des cas pour le hareng (AH). Des corrélations négatives et significatives n'ont été obtenues que dans 40 % des répliqués pour les poissons plats (Pleuronectidae) (RYF) (Tableau 11). La tendance commune moyenne associée à tous ces répliqués est présentée au Tableau 12. Aucun patron rétrospectif n'a été détecté (Figure 13).

Cependant, les analyses rétrospectives n'ont été réalisées qu'à partir de la matrice diagonale puisque la matrice symétrique non diagonale n'a pu être utilisée avec succès pour les modèles où le nombre d'espèces était supérieur aux nombres d'années. Pour tous les modèles utilisant la matrice diagonale, une seule variable explicative a été sélectionnée, soit la température (°C) moyenne des 10 premiers mètres. La tendance commune associée à ces modèles présente une baisse jusqu'en 2005 suivie d'une hausse.

4. CONCLUSION ET DISCUSSION

Des tendances communes ont été détectées dans les séries temporelles d'abondance d'œufs et de larves de poissons qui ont été récoltés dans le sud du golfe Saint-Laurent entre 1983 et 2012. Ces tendances présentent des baisses importantes passant d'un maximum au milieu des années 1980 à un minimum au début des années 2010. Les espèces larvaires associées à ces tendances sont la limande à queue jaune, la morue, le maquereau, le sébaste et le capelan. Les adultes de ces espèces, à part le capelan, ont tous été commercialement importants. Dans leur ensemble, les variations d'abondance des œufs et des larves récoltés dans le sud du golfe sont bien représentées par les modèles sélectionnés d'AFD comme le montrent les valeurs peu élevées des éléments non diagonaux des matrices de covariance correspondantes.

Une seule variable explicative a été sélectionnée par le modèle d'AFD appliqué aux abondances d'œufs, soit l'abondance du plancton. Cette variable est inversement reliée à l'abondance des œufs de la plie canadienne. Cette relation demeure difficile à interpréter.

Deux variables explicatives ont été sélectionnées par le modèle d'AFD appliqué aux abondances de larves. Pour la température de la couche intermédiaire froide, tous les paramètres de régression significatifs ont été obtenus avec des espèces n'étant pas associées à la tendance commune. Ces espèces étaient la tanche-tautogue (CUN), les limaces (SN), la motelle à quatre barbillons (FR) et la plie canadienne (AP). Pour l'indice d'abondance du plancton, des paramètres de régression significatifs n'ont été obtenus que pour la sigouine de roche (RG) et la plie rouge (WIN), deux espèces non associées à la tendance commune.

Les résultats de cette étude indiquent donc que les changements d'abondance des espèces associées aux tendances communes n'étaient pas reliés aux variables explicatives sélectionnées par les modèles d'AFD. Rappelons que ces variables n'ont été testées dans les modèles d'AFD qu'à titre exploratoire. Il se pourrait que leur choix ait été inapproprié et que les changements d'abondance des espèces associées aux tendances communes soient plutôt reliés à d'autres variables ayant eu une influence sur l'abondance et la distribution des adultes (pêche, prédation, disponibilité des proies, etc.), tout en n'excluant pas l'effet de l'environnement sur certains des paramètres du cycle de vie de ces espèces (Benoît *et al.* 2012). Ceci pourrait faire l'objet d'une autre étude.

5. REMERCIEMENTS

De très sincères remerciements sont exprimés à l'égard de Patrick Ouellet et Claude Savenkoff pour la révision de ce document.

6. RÉFÉRENCES

- Azevedo, M., Duarte, R., Cardador, F., Sousa, P., Fariña, C., Sampedro, P., Landa, J. et Costas, G. 2008. Application of dynamic factor analysis in the assessment of Iberian anglerfish stocks. *ICES J. Mar. Sci.* 65: 1362–1369.

-
- Benoît, H. P., Savenkoff, C., Ouellet, P., Galbraith, P. S., Chassé, J. et Fréchet, A. 2012. Impacts of fishing and climate-driven changes in exploited marine populations and communities, with implications for management. In: State-of-the-Ocean Report for the Gulf of St. Lawrence Integrated Management (GOSLIM) Area. Edited by Benoît, H. P., J. A. Gagné, C. Savenkoff, P. Ouellet, and M.-N. Bourassa. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2986, pp. 36–50.
- Bourassa, M.-N., Savenkoff, C., Ouellet, P. et Benoît, H. P. 2013. Application de l'analyse factorielle dynamique pour la détection des tendances communes dominantes de la biomasse et de l'abondance de poissons démersaux dans quatre régions du golfe du Saint-Laurent. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3048 : xiii + 135 pp.
- Chen, C. S. 2010. Abundance trends of two neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) stocks in the North Pacific. ICES J. Mar. Sci. 67: 1336–1345.
- Chen, C. S., Pierce, G. J., Wang, J., Robin, J.-P., Poulard, J. C., Pereira, J., Zuur, A. F., Boyle, P. R., Bailey, N., Beare, D. J., Jereb, P., Ragonese, S., Mannini, A. et Orsi-Relini, L. 2006. The apparent disappearance of *Loligo forbesi* from the south of its range in the 1990: Trends in *Loligos* spp. abundance in the northeast Atlantic and possible environmental influences. Fish. Res. 78: 44–54.
- Doi, H. 2007. Winter flowering phenology of Japanese apricot *Prunus mume* reflects climate change across Japan. Climate Res. 34: 99–104.
- Elliott, E. M. et Jimenez, D. 1981. Laboratory manual for the identification of ichthyoplankton from the Beverly - Salem Harbor area. Dept. of Fisheries, Wildlife and Recreational Vehicles, Massachusetts. 230 pp.
- Erzini, K. 2005. Trends in NE Atlantic landings (southern Portugal): identifying the relative importance of fisheries and environmental variables. Fish. Oceanogr. 14(3): 195–209.
- Erzini, K., Inejih, C. A. O. et Stobberup, K. A. 2005. An application of two techniques for the analysis of short, multivariate non-stationary time-series of Mauritanian trawl survey data. ICES J. Mar. Sci. 62: 353–359.
- Fahay, M. P. 2007a. Early stages of fishes in the Western North Atlantic Ocean (Davis Strait, Southern Greenland and Flemish Cap to Cape Hatteras). Volume one: Acipenseriformes through Syngnathiformes. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Dartmouth, N. S. 931 pp.
- Fahay, M. P. 2007b. Early stages of fishes in the Western North Atlantic Ocean (Davis Strait, Southern Greenland and Flemish Cap to Cape Hatteras). Volume two: Scorpaeniformes through Tetraodontiformes. Northwest Atlantic Fisheries Organization, Dartmouth, N. S. 766 pp.
- Fritzsche, R. A. 1978. Development of fishes of the mid-Atlantic Bight, an atlas of egg, larval and juvenile stages. Vol. V. Chaetodontidae through Ophidiidae. U.S. Fish. Wildl. Serv. Biol. Serv. Program. 340 pp.
- Gaertner, D. 2010. Common trends model in catch per unit of effort for the tropical tunas. ICCAT 65(2): 417–429.
- Galbraith, P. S., Chassé, J., Larouche, P., Gilbert, D., Brickman, D., Pettigrew, B., Devine, L. et Lafleur, C. 2013. Physical Oceanographic Conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2012. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/026: v + 89 p.
- Gilbert, M. et Pettigrew, B. 1997. Interannual variability (1948–1994) of the CIL core temperature in the Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54 (Suppl. 1): 57–67.
-

-
- Grégoire, F. 2013. Application of the dynamic factor analysis for abundance indices estimated from the multidisciplinary groundfish and shrimp research survey conducted in the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3022: vi + 27 p.
- Grégoire, F. et McKenzie, D. 2002. Evaluation of the abundance of plankton gathered in spawning biomass assessment surveys of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) from 1982 to 2000. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2002/065. 32 pp.
- Grégoire, F., Gendron, M.-F., Beaulieu, J.-L. et Lévesque, I. 2013. Résultats des relevés des œufs de maquereau bleu (*Scomber scombrus* L.) réalisés dans le sud du golfe du Saint-Laurent de 2008 à 2011. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2013/035. v + 57 p.
- Harvey, A. C. 1989. Forecasting, structural time series models and the Kalman filter. Cambridge University Press, Cambridge. 572 pp.
- Highland Statistics Ltd. 2000. Brodgar: Software package for multivariate analysis and multivariate time series analysis. Version 2+. Highland Statistics Ltd. 148 pp.
- Holmes, E. E., Ward, E. J. et Scheuerell, M. D. 2014. Analysis of multivariate time-series using the MARSS package, version 3.9. Northwest Fisheries Science Centre, NOAA. Seattle, WA. USA.
- Ligas, A., Sartor, P. et Colloca, F. 2011. Trends in population dynamics and fishery of *Parapenaeus longirostris* and *Nephrops norvegicus* in the Tyrrhenian Sea (NW Mediterranean): the relative importance of fishery and environmental variables. Mar. Eco. 32 (Suppl. 1): 25–35.
- Molenaar, P. C. M. 1985. A dynamic factor model for the analysis of multivariate time series. Psychometrika 50: 181–202.
- Molenaar, P. C. M., De Gooijer, J. G. et Schmitz, B. 1992. Dynamic factor analysis of nonstationary multivariate time series. Psychometrika 57: 333–349.
- Nye, J. A., Bundy, A., Shackell, N., Friedland, K. D. et Link, J. S. 2010. Coherent trends in contiguous survey time-series of major ecological and commercial fish species in the Gulf of Maine ecosystem. ICES J. Mar. Sci. 67: 26–40.
- Ritter, A. et Muñoz-Carpena, R. 2006. Dynamic factor modeling of ground and surface water levels in an agricultural area adjacent to Everglades National Park. J. Hydrol. 317: 340–354.
- Zuur, A. F. et Pierce, G. J. 2004. Common trends in northeast Atlantic squid time series. J. Sea Res. 52: 57–72.
- Zuur, A. F., Fryer, R. J., Jolliffe, I. T., Dekker, R. et Beukema, J. J. 2003a. Estimating common trends in multivariate time series using dynamic factor analysis. Environmetrics 14: 665–685.
- Zuur, A. F., Tuck, I. D. et Bailey, N. 2003b. Dynamic factor analysis to estimate common trends in fisheries time series. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 542–552.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N. et Smith, G. M. 2007. Analysing Ecological Data. Springer, New York. 672 pp.

TABLEAUX

Tableau 1. Abondance (n/m^2) moyenne annuelle des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012. Les variables explicatives utilisées dans les analyses factorielles dynamiques (AFD) sont aussi présentées.

ESPECE	CODE ²	ANNÉE												
		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1996
Maquereau bleu (<i>Scomber scombrus</i>)	AM	1257 143	336 837	371 593	772 128	676 104	827 680	199 091	555 882	640 851	463 170	465 314	212 517	126 396
H4B ¹	H4B	- ³	4 673	4 290	18 784	5 759	5 253	4 374	2 748	5 506	6 744	4 369	1 839	1 636
CHW ¹	CHW	- ³	22 202	19 297	23 159	30 527	17 555	5 681	17 464	9 952	10 143	8 058	11 101	5 822
CYT ¹	CYT	- ³	14 708	50 871	247 540	21 408	40 892	25 307	12 666	51 450	28 641	25 323	26 396	24 659
Plie canadienne (<i>Hippoglossoides platessoides</i>)	AP	- ³	0 387	0 434	0 567	0 140	0 180	0 096	0 592	1 401	0 778	0 808	0 787	0 580
Turbot de sable (<i>Scophthalmus aquosus</i>)	WPA	- ³	0 112	0 027	0 331	15 674	0 274	1 037	0 278	0 674	0 000	0 000	0 434	0 067
Température ClF (°C)		0.27	-0.33	-0.26	-0.88	-0.73	-0.46	-0.64	-0.88	-0.89	-0.83	-0.75	-0.87	-0.65
Volume ClF < 0 °C (km³)		208 40	581 10	37 00	122 20	318 80	132 80	281 60	133 70	194 80	561 70	447 00	323 90	314 60
Température (°C) (0-10 m)		13.98	10.81	11.08	11.52	11.45	9.70	11.35	9.98	9.83	11.16	9.73	8.98	11.19
Débit d'eau douce (m³/s)		16700	19377	17180	18577	17250	16250	11560	14925	20141	13399	21069	14557	16277
Indice d'abondance du plancton (ml/m³)		0.475	0.501	0.662	0.620	0.330	1.172	0.796	0.740	0.630	0.512	0.520	0.617	0.605

ESPECE	CODE ²	ANNÉE												
		1998	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Maquereau bleu (<i>Scomber scombrus</i>)	AM	65 880	98 502	231 000	402 309	186 866	128 238	14 191	145 708	143 354	111 336	36 978	47 881	15 025
H4B ¹	H4B	- ³	1 352	2 744	1 659	1 636	1 499	1 756	4 009	2 720	2 031	8 077	4 083	3 789
CHW ¹	CHW	- ³	13 648	5 032	8 655	2 284	5 274	7 854	4 648	6 069	5 054	4 494	9 453	5 101
CYT ¹	CYT	- ³	47 846	73 596	47 248	57 106	30 735	23 087	36 373	22 474	38 635	29 089	65 506	29 005
Plie canadienne (<i>Hippoglossoides platessoides</i>)	AP	- ³	0 307	0 552	0 446	0 681	0 518	0 258	0 730	1 006	1 064	1 319	1 431	0 922
Turbot de sable (<i>Scophthalmus aquosus</i>)	WPA	- ³	0 000	0 068	0 010	0 111	0 000	0 246	0 032	0 106	0 519	0 050	0 078	0 066
Température ClF (°C)		-0.77	0.10	-0.20	-0.82	-0.28	-0.08	0.21	-0.23	-0.70	-0.42	-0.04	0.17	0.42
Volume ClF < 0 °C (km³)		517 10	107 70	10 10	293 00	171 50	0 00	0 00	8 90	432 50	0 50	0 00	0 00	0 00
Température (°C) (0-10 m)		10.61	10.94	9.53	9.69	8.45	8.80	13.97	11.72	12.45	10.78	9.30	9.50	11.03
Débit d'eau douce (m³/s)		21519	15474	14731	11624	15160	19429	16392	15293	17566	17928	13612	16197	14712
Indice d'abondance du plancton (ml/m³)		0.462	1.024	0.766	1.544	1.019	0.561	1.109	0.921	0.978	0.793	0.303	0.454	0.836

¹ H4B= merlu (*Urophycis* spp.), motelle à quatre barbillons (*Enchelyopus cimbrius*) et stromatée à fossettes (*Pepnilus triacanthus*), CHW= morue (*Gadus morhua*), aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) et plie grise (*Glyptocephalus cynoglossus*), CYT= lanche-tautogue (*Tautoglabrus adspersus*) et limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*)

² Code d'espèces ou des groupes d'espèces présenté dans les résultats des AFD

³ Espèces ou groupes d'espèces non triés et identifiés

Tableau 2. Abondance (n/m^2) moyenne annuelle des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012.

ESPECE	CODE ¹	ANNÉE												
		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1996
Poisson alligator (<i>Agonidae</i>)	AG	0.003	0.000	0.000	0.000	0.164	0.065	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.028	0.022
Lançon (<i>Ammodytes</i> spp.)	SL	0.612	2.185	0.544	0.902	1.480	0.199	0.000	0.118	0.213	0.216	1.142	2.630	0.337
Turbot de sable (<i>Scophthalmus aquosus</i>)	WPA	0.000	0.017	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
Hareng atlantique (<i>Clupea harengus</i>)	AH	0.677	0.511	1.255	1.105	0.437	0.441	0.135	0.442	0.236	0.735	0.462	1.584	0.781
Cottides (<i>Cottidae</i>)	SC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.133	0.006	0.020	0.000	0.033	0.000
Chabosseau à épines courtes (<i>Myoxocephalus scorpius</i>)	LHS	0.000	0.036	0.039	0.043	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.049	0.073	0.300	0.011
Morue atlantique (<i>Gadus morhua</i>)	COD	2.246	2.801	5.382	8.102	1.182	4.893	1.392	1.004	0.756	0.404	0.584	0.081	0.308
Tanche-tautogue (<i>Tautoglabrus adspersus</i>)	CUN	2.870	0.547	1.050	3.600	0.000	0.000	0.536	0.016	0.090	0.049	0.000	0.016	0.516
Limaces (<i>Liparis</i> spp.)	SN	0.192	0.199	0.659	0.342	0.451	0.081	0.601	0.452	0.642	0.400	0.910	0.508	0.250
Capelan (<i>Mallotus villosus</i>)	CAP	16.406	3.650	2.504	10.642	1.036	0.076	1.016	4.779	0.834	0.036	0.115	0.847	0.879
Sigouine de roche (<i>Photis gunnellus</i>)	RG	0.057	0.009	0.024	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002
Mollelle à quatre barbillons (<i>Enchelyopus cimbrius</i>)	FR	2.993	0.429	0.135	2.431	0.169	0.357	0.222	0.064	1.492	0.116	0.334	0.334	0.070
Plie canadienne (<i>Hippoglossoides platessoides</i>)	AP	2.336	1.143	1.937	3.984	0.401	0.326	1.637	1.008	1.373	2.212	0.951	0.263	0.041
Plie grise (<i>Glyptocephalus cynoglossus</i>)	WIT	0.211	0.045	0.000	0.088	0.637	0.216	0.163	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.117
Limande à queue jaune (<i>Limanda ferruginea</i>)	YEL	9.818	5.535	10.189	9.068	1.103	2.164	4.331	4.595	0.525	2.571	2.147	0.210	0.789
Plie rouge (<i>Pseudopleuronectes americanus</i>)	WIN	0.773	1.014	1.243	2.960	0.873	0.000	0.000	0.061	0.137	0.000	0.009	0.000	0.000
Poisson plat (<i>Pleuronectidae</i>)	RYF	0.024	0.000	1.691	0.000	0.624	0.000	0.000	0.207	2.370	1.854	4.640	1.157	6.314
Maquereau bleu (<i>Scomber scombrus</i>)	MAC	105.278	31.655	17.808	40.260	7.539	46.463	30.048	27.758	2.979	3.374	3.179	0.161	16.780
Sébastes (<i>Sebastes</i> spp.)	RED	4.325	18.123	3.010	4.752	6.946	2.997	2.740	5.906	2.488	3.814	2.732	1.107	0.167
Lompénie (<i>Lumpenus</i> spp.)	BLE	0.381	0.298	0.186	0.264	0.136	0.287	0.424	0.099	0.011	0.939	0.328	0.635	0.181
Stichée arctique (<i>Stichaeus punctatus</i>)	AS	0.093	0.128	0.314	0.238	0.138	0.243	0.000	0.095	0.076	0.157	0.252	3.738	0.130
Ulvaire à deux lignes (<i>Ulvaria subbifurcata</i>)	RS	2.585	0.923	1.527	3.141	0.479	0.456	0.393	0.639	0.405	0.780	0.303	1.415	0.708

Tableau 2. (Suite).

ESPECE	CODE ¹	ANNEE												
		1998	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Poisson alligator (Agonidae)	AG	0.001	0.003	0.004	0.000	0.026	0.038	0.006	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Langon (Ammodytes spp.)	SL	0.611	1.936	2.162	1.124	1.649	4.098	0.352	5.667	0.960	5.128	1.622	1.105	3.374
Turbot de sable (<i>Scophthalmus aquosus</i>)	WPA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.152	0.030	0.405	0.009	0.000	0.002	0.000
Hareng atlantique (<i>Clupea harengus</i>)	AH	0.378	0.253	0.287	0.018	0.296	0.052	0.006	0.005	0.061	0.158	0.015	0.266	0.020
Cottides (Cottidae)	SC	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.024	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
Chabotisseau à épines courtes (<i>Myoxocephalus scorpius</i>)	LHS	0.031	0.025	0.153	0.072	0.019	0.061	0.025	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
Morue atlantique (<i>Gadus morhua</i>)	COD	0.288	0.231	0.134	0.027	0.000	0.054	0.323	0.268	0.241	0.113	0.065	0.540	0.678
Tanche-lautogue (<i>Tautoglabrus adspersus</i>)	CUN	0.140	5.495	0.008	0.031	0.041	0.037	15.493	1.293	0.663	0.020	0.299	0.137	0.000
Limaces (<i>Liparis</i> spp.)	SN	0.145	0.139	0.040	0.287	0.213	0.233	0.134	0.119	0.631	0.397	0.077	0.376	0.533
Capelan (<i>Mallotus villosus</i>)	CAP	0.719	1.159	0.363	1.307	0.340	0.513	2.932	1.690	2.240	0.660	0.955	1.052	0.214
Sigouine de roche (<i>Pholis gunnellus</i>)	RG	0.002	0.001	0.000	0.018	0.000	0.021	0.000	0.003	0.006	0.024	0.002	0.003	0.003
Motelle à quatre barbillons (<i>Enchelyopus cimbrius</i>)	FR	0.060	0.253	0.152	0.026	0.017	0.145	0.889	0.598	0.472	0.197	0.448	2.360	0.914
Plie canadienne (<i>Hippoglossoides platessoides</i>)	AP	0.108	1.035	0.111	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000	0.119	0.369	0.213	5.890	13.618
Plie grise (<i>Glyptocephalus cynoglossus</i>)	WIT	0.150	0.020	0.045	0.000	0.000	0.000	0.027	0.080	0.101	0.260	0.014	0.676	0.389
Limande à queue jaune (<i>Limanda ferruginea</i>)	YEL	2.072	0.185	0.388	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.715	1.512	0.133	0.209	1.531
Plie rouge (<i>Pseudopleuronectes americanus</i>)	WIN	0.670	0.090	0.000	0.000	0.000	0.436	0.000	0.011	0.590	0.088	1.720	3.269	1.044
Poisson plat (Pleuronectidae)	RYF	0.380	17.625	3.663	5.963	0.743	3.467	3.874	7.601	3.263	7.976	0.131	0.013	0.099
Maquereau bleu (<i>Scomber scombrus</i>)	MAC	0.691	6.868	0.887	25.046	0.000	0.002	10.273	15.931	20.459	11.896	0.284	0.008	0.541
Sébastes (<i>Sebastes</i> spp.)	RED	0.568	2.480	0.867	0.128	2.471	0.276	0.825	1.472	0.175	2.381	1.352	0.527	1.376
Lompénie (<i>Lumpenus</i> spp.)	BLE	0.357	0.202	0.178	0.424	0.551	0.366	0.171	1.099	0.569	1.616	0.346	0.564	0.430
Stichée arctique (<i>Stichaeus punctatus</i>)	AS	0.228	0.777	0.352	0.139	0.514	0.052	0.227	0.087	0.533	0.479	0.061	0.049	0.209
Ulvaire à deux lignes (<i>Ulvaria subbifurcata</i>)	RS	0.556	3.071	1.991	2.518	2.381	0.576	0.184	1.184	1.112	1.554	0.744	1.047	1.374

¹ Code d'espèces ou des groupes d'espèces présenté dans les résultats des AFD

Tableau 3. Modèles d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqués sur les abondances d'œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984¹ et 2012.

NUMERO DU MODELE	DESCRIPTION DU MODELE	NOMBRE DE TENDANCES COMMUNES	VARIABLE EXPLICATIVE	AIC ²	
				R diagonale	R symétrique non diagonale
1	1 tendance commune + bruit ³	1	-	373 844	363 454
2	M tendances communes + bruit	1	-	385 844	375 454
3	M tendances communes + bruit	2	-	387 097	371 422
4	M tendances communes + bruit	3	-	393 881	379 061
5	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF	375 580	365 564
6	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume	381 480	370 814
7	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10	379 955	367 462
8	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Débit	381 838	370 820
9	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Plankton	373 160	350 469
10	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF	387 579	377 564
11	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF	386 048	373 993
12	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF	385 814	384 297
13	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume	393 480	382 652
14	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume	393 043	378 637
15	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume	394 941	387 039
16	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10	391 955	379 462
17	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Temp. 0-10	386 999	373 209
18	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Temp. 0-10	385 792	380 880
19	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Débit	393 838	382 820
20	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Débit	392 610	380 467
21	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Débit	392 824	387 454
22	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Plankton	385 160	362 469
23	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Plankton	381 205	369 108
24	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Plankton	383 929	374 828
25	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Volume	376 919	366 627
26	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Temp. 0-10	382 544	368 760
27	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Débit	383 654	372 445
28	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Plankton	373 866	352 088
29	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume + Temp. 0-10	387 323	373 457
30	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume + Débit	389 603	377 941
31	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume + Plankton	380 373	357 210
32	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Débit	387 591	374 529
33	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Plankton	377 631	349.528
34	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Volume	388 919	378 627
35	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Volume	386 800	375 129
36	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Volume	388 361	383 565
37	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Temp. 0-10	394 544	380 760
38	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Temp. 0-10	387 335	375 161
39	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Temp. 0-10	386 301	385 011

Tableau 3. (Suite).

NUMÉRO DU MODÈLE	DESCRIPTION DU MODÈLE	NOMBRE DE TENDANCES COMMUNES	VARIABLE EXPLICATIVE	AIC ²	
				R diagonale	R symétrique non diagonale
40	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Débit	395.654	384.445
41	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Débit	391.125	382.763
42	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Débit	391.100	392.004
43	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Plancton	385.866	364.088
44	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Plancton	379.574	369.197
45	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Plancton	384.182	376.025
46	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume + Temp. 0-10	399.323	385.457
47	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume + Temp. 0-10	393.068	379.663
48	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume + Temp. 0-10	393.773	387.405
49	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume + Débit	401.603	369.941
50	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume + Débit	399.085	387.496
51	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume + Débit	401.327	394.623
52	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume + Plancton	392.373	369.210
53	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume + Plancton	388.712	374.562
54	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume + Plancton	393.212	382.945
55	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Débit	399.591	386.059
56	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Temp. 0-10 + Débit	393.415	381.444
57	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Temp. 0-10 + Débit	391.679	388.005
58	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Plancton	389.631	361.528
59	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Temp. 0-10 + Plancton	381.758	363.563
60	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Temp. 0-10 + Plancton	376.449	370.742
61	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Débit + Plancton	394.207	369.612
62	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Débit + Plancton	388.462	375.909
63	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Débit + Plancton	386.091	380.350

¹ Seuls les œufs de maquereau bleu ont été triés et identifiés en 1983

² Critère d'information Akaike; le modèle sélectionné correspond à celui ayant le plus faible AIC (en gras)

³ Bruit: Erreurs de mesures ϵ_i pour lesquelles on assume une distribution normale avec une moyenne de 0 et une matrice de covariance R

Tableau 4. Facteur de pondération, corrélation canonique (r de Pearson), coefficient des régressions, erreur-type et valeur de t pour le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012.

ESPÈCES OU GROUPES D'ESPÈCES	FACTEUR DE PONDÉRATION ²	CORRÉLATION CANONIQUE	VARIABLE EXPLICATIVE					
			Température (°C) (0-10 m)			Abondance du plancton (ml/m ³)		
			Coefficient	Erreur-Type	Valeur de t	Coefficient	Erreur-Type	Valeur de t
Maquereau bleu	<u>0.236</u>	0.812 ³	-0.173	0.126	-1.376	0.152	0.128	1.185
H4B ¹	0.096	0.412 ³	0.151	0.173	0.872	-0.293	0.176	-1.669
CHW ¹	<u>0.205</u>	0.783 ³	0.144	0.131	1.099	-0.139	0.135	-1.025
CYT ¹	0.062	0.216	-0.003	0.197	-0.014	0.038	0.200	0.188
Plie canadienne	-0.174	-0.582 ³	-0.190	0.140	-1.350	-0.397	0.144	-2.747 ⁴
Turbot de sable	0.078	0.346	0.178	0.180	0.989	-0.278	0.183	-1.517

¹ H4B= merlu (*Urophycis* spp.), motelle à quatre barbillons (*Enchelyopus cimbrius*) et stromatée à fossettes (*Peprilus triacanthus*); CHW= morue (*Gadus morhua*), aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) et plie grise (*Glyptocephalus cynoglossus*); CYT= tanche-taougue (*Tautoglabrus adspersus*) et limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*)

² Les facteurs de pondération qui sont supérieurs à un seuil arbitraire de 0.2 sont en caractères gras et soulignés

³ Significatif à 0.05 ($|r| \geq 0.396$, $df=23$)

⁴ Significatif à 0.05 ($|t| \geq 2.068$, $df=23$)

Tableau 5. Diagonale et triangle inférieur de la matrice de covariance des erreurs du modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur les abondances d'œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012.

	Maquereau bleu	H4B ¹	CHW ¹	CYT ¹	Plie canadienne	Turbot de sable
Maquereau bleu	0.31					
H4B ¹	0.25	0.70				
CHW ¹	0.12	0.08	0.36			
CYT ¹	0.18	0.68	0.10	0.92		
Plie canadienne	0.19	0.20	-0.02	0.15	0.43	
Turbot de sable	0.12	-0.13	0.25	-0.16	-0.18	0.76

¹ H4B= merlu (*Urophycis* spp.), motelle à quatre barbillons (*Enchelyopus cimbrius*) et stromatée à fossettes (*Peprilus triacanthus*); CHW= morue (*Gadus morhua*), aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*) et plie grise (*Glyptocephalus cynoglossus*); CYT= tanche-taougue (*Tautoglabrus adspersus*) et limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*)

Tableau 6. Corrélations canoniques (r de Pearson) entre les séries d'abondance et la tendance commune produite par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué à 30 reprises sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012 (voir Tableau 1 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces). Les coefficients en gras sont significatifs ($|r| \geq 0.396; df=23$).

RÉPLICATS	ESPÈCES OU GROUPES D'ESPÈCES					
	AM	HMB	CHW	CYT	AP	WPA
1	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
2	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
3	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
4	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
5	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
6	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
7	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
8	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
9	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
10	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
11	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
12	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
13	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
14	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
15	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
16	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
17	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
18	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
19	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
20	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
21	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
22	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
23	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
24	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
25	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
26	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
27	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
28	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
29	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
30	0.812	0.412	0.783	0.216	-0.582	0.346
NOMBRE DE RÉPLICATS (n)	30	30	30	30	30	30
RÉPLICATS POSITIFS (n)	30	30	30	30	0	30
RÉPLICATS POSITIFS SIGNIFICATIFS (n)	30	30	30	0	0	0
RÉPLICATS POSITIFS SIGNIFICATIFS (%)	100	100	100	0	0	0
RÉPLICATS NÉGATIFS (n)	0	0	0	0	30	0
RÉPLICATS NÉGATIFS SIGNIFICATIFS (n)	0	0	0	0	30	0
RÉPLICATS NÉGATIFS SIGNIFICATIFS (%)	0	0	0	0	100	0

Tableau 7. Tendence commune moyenne produite par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué à 30 reprises sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012.

ANNÉE	MOYENNE	ERREUR-TYPE	INTERVALLES DE CONFIANCE A 95 %	
			Limite inférieure	Limite supérieure
1984	4.502	0.82192	4.502	4.502
1985	4.539	0.82863	4.538	4.539
1986	5.229	0.95460	5.228	5.229
1987	5.362	0.97894	5.362	5.362
1988	4.955	0.90470	4.955	4.955
1989	3.252	0.59377	3.252	3.252
1990	3.036	0.55422	3.035	3.036
1991	1.916	0.34987	1.916	1.917
1992	1.915	0.34966	1.915	1.915
1993	1.396	0.25492	1.396	1.396
1994	0.211	0.03852	0.211	0.211
1996	-0.297	-0.05422	-0.297	-0.297
1998	-0.804	-0.14679	-0.804	-0.804
2000	-0.885	-0.16158	-0.885	-0.885
2002	-1.019	-0.18602	-1.019	-1.019
2003	-1.584	-0.28926	-1.585	-1.584
2004	-2.081	-0.37996	-2.081	-2.081
2005	-1.635	-0.29856	-1.635	-1.635
2006	-2.197	-0.40103	-2.197	-2.196
2007	-2.972	-0.54256	-2.972	-2.971
2008	-3.794	-0.69261	-3.794	-3.793
2009	-4.302	-0.78540	-4.302	-4.302
2010	-4.759	-0.86888	-4.759	-4.759
2011	-4.980	-0.90913	-4.980	-4.979
2012	-5.005	-0.91382	-5.005	-5.005

Tableau 8. Modèles d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqués sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012.

NUMÉRO DU MODÈLE	DESCRIPTION DU MODÈLE	NOMBRE DE TENDANCES COMMUNES	VARIABLE EXPLICATIVE	AIC ¹	
				R diagonale	R symétrique non diagonale
1	1 tendance commune + bruit ²	1	-	1591.213	1570.257
2	M tendances communes + bruit	1	-	1623.439	1614.257
3	M tendances communes + bruit	2	-	1612.984	1606.063
4	M tendances communes + bruit	3	-	1613.150	1600.178
5	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF	1573.910	1556.499
6	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume	1583.347	1578.628
7	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10	1564.490	1531.979
8	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Débit	1605.151	1567.972
9	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Plankton	1580.299	1550.429
10	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF	1617.910	1602.241
11	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF	1614.717	1594.663
12	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF	1611.052	1604.781
13	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume	1627.347	1625.164
14	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume	1618.928	1605.683
15	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume	1615.434	1614.380
16	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10	1608.490	1575.865
17	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Temp. 0-10	1602.359	1561.496
18	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Temp. 0-10	1602.252	1569.844
19	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Débit	1649.151	1613.191
20	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Débit	1635.998	1583.764
21	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Débit	1625.563	1578.776
22	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Plankton	1624.299	1593.303
23	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Plankton	1612.973	1569.585
24	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Plankton	1606.424	1572.134
25	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Volume	1597.031	1550.665
26	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Temp. 0-10	1572.764	1494.390
27	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Débit	1607.872	1534.932
28	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Plankton	1582.389	1474.737
29	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume + Temp. 0-10	1572.843	1525.769
30	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume + Débit	1617.142	1493.408
31	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Volume + Plankton	1592.843	1514.382
32	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Débit	1598.859	1516.447
33	1 tendance commune + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Plankton	1577.034	1483.029
34	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Volume	1641.031	1595.019
35	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Volume	1637.122	1584.562
36	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Volume	1630.040	1582.848
37	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Temp. 0-10	1616.764	1539.355
38	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Temp. 0-10	1615.028	1537.923
39	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Temp. 0-10	1612.281	1529.124

Tableau 8. (Suite).

NUMERO DU MODELE	DESCRIPTION DU MODELE	NOMBRE DE TENDANCES COMMUNES	VARIABLE EXPLICATIVE	AIC ¹	
				R diagonale	R symétrique non diagonale
40	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Débit	1651.872	1579.289
41	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Débit	1645.864	1570.069
42	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Débit	1638.770	1558.169
43	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Indice CIF + Plancton	1626.389	1520.913
44	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Indice CIF + Plancton	1622.203	1517.530
45	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Indice CIF + Plancton	1621.269	1513.742
46	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume + Temp. 0-10	1616.843	1570.017
47	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume + Temp. 0-10	1612.130	1553.090
48	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume + Temp. 0-10	1610.757	1552.691
49	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume + Débit	1661.142	1536.632
50	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume + Débit	1649.016	1516.969
51	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume + Débit	1639.026	1506.945
52	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Volume + Plancton	1636.843	1561.395
53	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Volume + Plancton	1624.971	1546.995
54	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Volume + Plancton	1616.380	1533.640
55	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Débit	1642.859	1556.658
56	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Temp. 0-10 + Débit	1633.219	1536.834
57	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Temp. 0-10 + Débit	1627.341	1525.153
58	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Temp. 0-10 + Plancton	1621.034	1530.150
59	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Temp. 0-10 + Plancton	1612.549	1500.217
60	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Temp. 0-10 + Plancton	1605.837	1494.869
61	M tendances communes + var. explicatives + bruit	1	Débit + Plancton	1658.305	1568.396
62	M tendances communes + var. explicatives + bruit	2	Débit + Plancton	1642.953	1537.594
63	M tendances communes + var. explicatives + bruit	3	Débit + Plancton	1636.321	1528.922

¹ Critère d'information Akaike; le modèle sélectionné correspond à celui ayant le plus faible AIC (en gras)

² Bruit: Erreurs de mesures ϵ_i pour lesquelles on assume une distribution normale avec une moyenne de 0 et une matrice de covariance R

Tableau 9. Facteur de pondération, corrélation canonique (*r* de Pearson), coefficient des régressions, erreur-type et valeur de *t* pour le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012.

ESPECES OU GROUPES D'ESPECES ¹	FACTEUR DE PONDERATION ²	CORRELATION CANONIQUE	VARIABLE EXPLICATIVE					
			Température (°C) de la couche intermédiaire froide (CIF)			Abondance du plancton (ml/m ³)		
			Coefficient	Erreur-Type	Valeur de <i>t</i>	Coefficient	Erreur-Type	Valeur de <i>t</i>
AG	0.051	0.222	-0.176	0.185	-0.950	-0.154	0.185	-0.834
SL	-0.111	-0.376	0.252	0.175	1.438	-0.053	0.174	-0.303
WPA	-0.055	-0.215	-0.059	0.186	-0.317	0.226	0.186	1.220
AH	0.132	0.507 ³	-0.277	0.155	-1.784	-0.226	0.154	-1.471
SC	-0.018	-0.017	-0.284	0.188	-1.513	0.014	0.188	0.077
LHS	-0.053	-0.124	-0.251	0.188	-1.341	-0.028	0.187	-0.150
COD	0.250	0.755 ³	0.011	0.138	0.081	0.128	0.132	0.968
CUN	0.037	-0.010	0.393	0.172	2.287 ⁴	0.293	0.172	1.708
SN	-0.005	0.078	-0.395	0.177	-2.232 ⁴	-0.155	0.177	-0.879
CAP	0.203	0.604 ³	0.257	0.155	1.660	-0.022	0.152	-0.144
RG	0.163	0.394 ³	0.254	0.165	1.538	0.347	0.163	2.132 ⁴
FR	0.097	0.288	0.378	0.170	2.222 ⁴	-0.181	0.169	-1.066
AP	0.002	-0.031	0.421	0.176	2.392 ⁴	-0.115	0.176	-0.652
WIT	0.004	0.032	0.269	0.181	1.489	-0.268	0.181	-1.482
YEL	0.266	0.834 ³	0.112	0.121	0.929	-0.068	0.113	-0.602
WIN	0.044	0.191	0.270	0.167	1.614	-0.410	0.167	-2.458 ⁴
RYF	-0.091	-0.368	0.072	0.171	0.421	0.321	0.171	1.881
MAC	0.245	0.680 ³	0.213	0.141	1.508	0.247	0.136	1.812
RED	0.206	0.674 ³	0.024	0.149	0.158	-0.130	0.146	-0.890
BLE	-0.120	-0.368	-0.052	0.183	-0.282	-0.003	0.182	-0.017
AS	-0.055	-0.135	-0.225	0.189	-1.192	-0.012	0.188	-0.062
RS	0.080	0.138	0.218	0.177	1.231	0.355	0.177	2.004

¹ Voir Tableau 2 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces

² Les facteurs de pondération qui sont supérieurs à un seuil arbitraire de 0.2 sont en caractères gras et soulignés

³ Significatif à 0.05 ($|r| \geq 0.388$, $df = 24$)

⁴ Significatif à 0.05 ($|t| \geq 2.064$, $df = 24$)

Tableau 10. Diagonale et triangle inférieur de la matrice de covariance des erreurs du modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 (voir Tableau 2 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces).

	AG	SL	WPA	AH	SC	LHS	COD	CUN	SN	CAP	RG	FR	AP	WIT	YEL	WIN	RYF	MAC	RED	BLE	AS	RS
AG	0.86																					
SL	0.09	0.76																				
WPA	-0.05	-0.14	0.87																			
AH	-0.07	0.00	-0.09	0.59																		
SC	-0.08	0.00	-0.12	0.03	0.89																	
LHS	-0.03	0.22	-0.17	0.49	0.06	0.89																
COD	-0.13	0.01	0.01	0.15	-0.10	-0.03	0.40															
CUN	-0.03	-0.24	0.23	0.06	-0.04	0.01	0.04	0.74														
SN	-0.15	-0.06	0.19	0.05	0.02	-0.05	0.01	-0.07	0.79													
CAP	-0.28	-0.03	0.16	0.05	0.14	-0.01	0.04	0.18	-0.07	0.56												
RG	0.14	0.03	-0.05	0.02	-0.05	-0.05	0.06	-0.25	-0.13	-0.01	0.65											
FR	-0.24	-0.13	0.11	0.04	-0.07	-0.07	0.18	0.14	0.09	0.44	0.03	0.72										
AP	-0.09	-0.04	-0.10	0.07	0.11	-0.06	0.20	-0.20	0.39	0.01	-0.12	0.25	0.78									
WIT	0.40	0.00	0.01	-0.13	-0.12	-0.26	0.02	-0.17	0.11	-0.09	0.11	0.18	0.31	0.83								
YEL	-0.33	-0.03	0.05	0.12	0.09	-0.03	0.15	0.01	0.15	0.20	-0.03	0.12	0.15	-0.12	0.28							
WIN	-0.16	-0.09	0.09	0.05	-0.10	-0.13	0.36	-0.02	0.03	0.14	-0.09	0.39	0.30	0.29	0.13	0.70						
RYF	0.00	0.20	-0.08	0.05	-0.12	0.01	-0.08	0.13	-0.04	0.00	-0.11	-0.12	-0.25	-0.16	-0.03	-0.19	0.73					
MAC	-0.16	-0.04	0.12	-0.05	0.07	-0.11	-0.04	-0.02	-0.08	0.38	0.23	0.29	-0.05	0.02	0.11	-0.02	-0.03	0.43				
RED	-0.01	0.19	0.01	-0.16	0.11	-0.04	-0.13	-0.03	-0.08	-0.13	-0.18	-0.17	0.00	-0.04	-0.12	-0.05	0.04	-0.12	0.51			
BLE	0.01	0.48	-0.02	0.06	-0.11	0.00	0.02	-0.18	0.00	0.08	0.19	0.04	0.00	0.12	0.13	-0.03	0.06	0.16	0.10	0.83		
AS	0.02	0.17	-0.01	0.55	0.05	0.73	-0.03	0.05	0.05	0.02	0.03	-0.01	-0.03	-0.11	-0.03	-0.10	0.04	-0.05	-0.04	0.10	0.90	
RS	-0.19	0.17	-0.15	0.26	-0.08	0.23	0.11	-0.12	-0.12	0.32	-0.16	0.24	0.08	-0.08	0.16	0.25	0.25	0.09	-0.08	0.15	0.23	0.79

Tableau 11. Corrélations canoniques (r de Pearson) entre les séries d'abondance et la tendance commune produite par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué à 30 reprises sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 (voir Tableau 2 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces). Les coefficients en gras sont significatifs ($|r| \geq 0.388; df=24$).

RÉPLICATS	ESPÈCES OU GROUPES D'ESPÈCES										
	AG	SL	WPA	AH	SC	LHS	COD	CUN	SN	CAP	RG
1	0.213	-0.287	-0.135	0.402	-0.047	-0.217	0.774	0.031	0.048	0.628	0.427
2	0.193	-0.326	-0.185	0.486	-0.061	-0.132	0.755	0.018	0.030	0.637	0.406
3	0.214	-0.320	-0.157	0.437	-0.029	-0.188	0.766	0.020	0.064	0.626	0.418
4	0.209	-0.328	-0.169	0.472	-0.046	-0.143	0.757	0.025	0.040	0.629	0.408
5	0.208	-0.319	-0.147	0.464	-0.043	-0.140	0.749	0.041	0.039	0.633	0.408
6	0.199	-0.344	-0.191	0.485	-0.041	-0.125	0.746	0.015	0.039	0.628	0.401
7	0.212	-0.296	-0.146	0.411	-0.045	-0.211	0.773	0.025	0.049	0.628	0.426
8	0.206	-0.349	-0.203	0.493	-0.043	-0.133	0.759	0.001	0.051	0.622	0.403
9	0.209	-0.298	-0.146	0.430	-0.053	-0.190	0.770	0.031	0.039	0.633	0.422
10	0.219	-0.336	-0.169	0.444	-0.015	-0.184	0.764	0.010	0.078	0.617	0.414
11	0.220	-0.338	-0.182	0.456	-0.028	-0.178	0.771	0.003	0.069	0.616	0.414
12	0.197	-0.286	-0.127	0.419	-0.052	-0.191	0.758	0.043	0.037	0.644	0.424
13	0.202	-0.282	-0.129	0.414	-0.059	-0.195	0.764	0.044	0.028	0.640	0.425
14	0.214	-0.324	-0.173	0.462	-0.048	-0.172	0.773	0.012	0.054	0.625	0.416
15	0.229	-0.317	-0.146	0.426	-0.030	-0.188	0.768	0.031	0.051	0.616	0.419
16	0.212	-0.315	-0.147	0.432	-0.031	-0.185	0.761	0.029	0.055	0.628	0.419
17	0.214	-0.362	-0.196	0.504	-0.020	-0.128	0.753	0.001	0.082	0.616	0.397
18	0.220	-0.335	-0.168	0.459	-0.028	-0.164	0.763	0.017	0.062	0.620	0.411
19	0.201	-0.275	-0.139	0.403	-0.067	-0.213	0.773	0.034	0.026	0.636	0.429
20	0.220	-0.350	-0.195	0.478	-0.029	-0.155	0.767	0.000	0.069	0.614	0.407
21	0.219	-0.326	-0.160	0.439	-0.021	-0.193	0.768	0.013	0.078	0.620	0.417
22	0.195	-0.310	-0.170	0.458	-0.067	-0.148	0.758	0.029	0.013	0.638	0.413
23	0.196	-0.291	-0.143	0.442	-0.072	-0.156	0.756	0.047	0.004	0.643	0.417
24	0.217	-0.311	-0.148	0.413	-0.022	-0.215	0.769	0.018	0.076	0.621	0.423
25	0.202	-0.350	-0.200	0.507	-0.046	-0.109	0.748	0.010	0.042	0.624	0.396
26	0.206	-0.229	-0.066	0.340	-0.060	-0.254	0.761	0.070	0.027	0.632	0.436
27	0.206	-0.283	-0.122	0.407	-0.052	-0.200	0.763	0.047	0.031	0.637	0.426
28	0.198	-0.321	-0.174	0.473	-0.055	-0.147	0.759	0.021	0.039	0.637	0.410
29	0.216	-0.339	-0.180	0.455	-0.023	-0.178	0.767	0.004	0.074	0.619	0.413
30	0.207	-0.280	-0.127	0.403	-0.056	-0.211	0.770	0.040	0.035	0.635	0.428
NOMBRE DE RÉPLICATS (n)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
RÉPLICATS POSITIFS (n)	30	0	0	30	0	0	30	30	30	30	30
RÉPLICATS POSITIFS SIGNIFICATIFS (n)	0	0	0	29	0	0	30	0	0	30	30
RÉPLICATS POSITIFS SIGNIFICATIFS (%)	0	0	0	97	0	0	100	0	0	100	100
RÉPLICATS NÉGATIFS (n)	0	30	30	0	30	30	0	0	0	0	0
RÉPLICATS NÉGATIFS SIGNIFICATIFS (n)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RÉPLICATS NÉGATIFS SIGNIFICATIFS (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 11. (Suite).

RÉPLICATS	ESPÈCES OU GROUPES D'ESPÈCES										
	FR	AP	WIT	YEL	WIN	RYF	MAC	RED	BLE	AS	RS
1	0.341	0.017	0.103	0.829	0.272	-0.408	0.698	0.671	-0.299	-0.205	0.134
2	0.311	-0.030	0.038	0.842	0.222	-0.351	0.699	0.676	-0.344	-0.144	0.186
3	0.325	-0.007	0.068	0.835	0.235	-0.397	0.700	0.678	-0.320	-0.183	0.127
4	0.300	-0.052	0.028	0.835	0.204	-0.355	0.698	0.674	-0.337	-0.153	0.162
5	0.293	-0.082	0.004	0.829	0.182	-0.345	0.702	0.673	-0.324	-0.153	0.155
6	0.295	-0.054	0.012	0.835	0.190	-0.346	0.697	0.676	-0.353	-0.145	0.175
7	0.340	0.020	0.101	0.833	0.270	-0.406	0.699	0.673	-0.308	-0.200	0.137
8	0.306	-0.018	0.046	0.840	0.218	-0.364	0.691	0.676	-0.357	-0.143	0.166
9	0.329	-0.007	0.078	0.835	0.252	-0.386	0.702	0.674	-0.313	-0.185	0.150
10	0.319	-0.005	0.065	0.834	0.225	-0.402	0.695	0.678	-0.329	-0.180	0.115
11	0.320	0.007	0.081	0.837	0.241	-0.399	0.692	0.676	-0.338	-0.173	0.130
12	0.333	-0.023	0.060	0.835	0.240	-0.381	0.711	0.676	-0.297	-0.188	0.148
13	0.331	-0.018	0.070	0.832	0.250	-0.380	0.707	0.672	-0.300	-0.191	0.157
14	0.324	0.003	0.082	0.840	0.250	-0.388	0.695	0.675	-0.332	-0.166	0.146
15	0.305	-0.037	0.057	0.823	0.219	-0.383	0.694	0.669	-0.321	-0.187	0.129
16	0.318	-0.028	0.053	0.832	0.222	-0.386	0.703	0.676	-0.316	-0.184	0.131
17	0.298	-0.035	0.027	0.839	0.192	-0.371	0.689	0.678	-0.351	-0.135	0.130
18	0.306	-0.033	0.046	0.833	0.211	-0.379	0.695	0.675	-0.334	-0.166	0.133
19	0.348	0.026	0.110	0.832	0.288	-0.398	0.701	0.670	-0.302	-0.203	0.162
20	0.309	-0.006	0.062	0.838	0.225	-0.385	0.688	0.676	-0.351	-0.157	0.139
21	0.327	0.003	0.077	0.835	0.238	-0.407	0.696	0.678	-0.319	-0.183	0.111
22	0.311	-0.035	0.043	0.836	0.228	-0.349	0.702	0.673	-0.337	-0.162	0.194
23	0.309	-0.057	0.034	0.830	0.222	-0.343	0.706	0.670	-0.319	-0.168	0.191
24	0.338	0.021	0.095	0.832	0.256	-0.420	0.697	0.675	-0.307	-0.200	0.107
25	0.289	-0.054	0.012	0.836	0.190	-0.340	0.690	0.673	-0.360	-0.128	0.177
26	0.349	-0.002	0.106	0.807	0.279	-0.402	0.700	0.655	-0.246	-0.231	0.122
27	0.326	-0.028	0.065	0.828	0.241	-0.380	0.707	0.671	-0.297	-0.195	0.147
28	0.317	-0.023	0.047	0.842	0.228	-0.364	0.701	0.678	-0.335	-0.155	0.170
29	0.322	0.005	0.072	0.838	0.235	-0.400	0.694	0.679	-0.335	-0.174	0.126
30	0.338	0.001	0.091	0.830	0.266	-0.394	0.704	0.671	-0.296	-0.201	0.145
NOMBRE DE RÉPLICATS (n)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
RÉPLICATS POSITIFS (n)	30	9	30	30	30	0	30	30	0	0	30
RÉPLICATS POSITIFS SIGNIFICATIFS (n)	0	0	0	30	0	0	30	30	0	0	0
RÉPLICATS POSITIFS SIGNIFICATIFS (%)	0	0	0	100	0	0	100	100	0	0	0
RÉPLICATS NÉGATIFS (n)	0	21	0	0	0	30	0	0	30	30	0
RÉPLICATS NÉGATIFS SIGNIFICATIFS (n)	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
RÉPLICATS NÉGATIFS SIGNIFICATIFS (%)	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0

Tableau 12. *Tendance commune moyenne produite par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué à 30 reprises sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012.*

ANNÉE	MOYENNE	ERREUR- TYPE	INTERVALLES DE CONFIANCE À	
			95 %	
			Limite inférieure	Limite supérieure
1983	6.498	0.029	6.439	6.558
1984	6.210	0.022	6.165	6.255
1985	5.654	0.015	5.623	5.686
1986	4.893	0.016	4.860	4.926
1987	3.955	0.023	3.907	4.003
1988	3.043	0.035	2.971	3.115
1989	1.954	0.044	1.865	2.044
1990	0.801	0.041	0.717	0.885
1991	-0.226	0.043	-0.314	-0.138
1992	-1.019	0.047	-1.115	-0.924
1993	-1.583	0.053	-1.692	-1.475
1994	-1.920	0.059	-2.040	-1.799
1996	-2.062	0.063	-2.190	-1.934
1998	-2.053	0.063	-2.181	-1.925
2000	-1.878	0.062	-2.005	-1.750
2002	-1.741	0.056	-1.855	-1.628
2003	-1.516	0.035	-1.587	-1.445
2004	-1.402	0.028	-1.459	-1.346
2005	-1.409	0.051	-1.512	-1.305
2006	-1.537	0.057	-1.654	-1.420
2007	-1.806	0.061	-1.931	-1.681
2008	-2.099	0.062	-2.225	-1.973
2009	-2.441	0.053	-2.549	-2.333
2010	-2.744	0.043	-2.832	-2.656
2011	-2.791	0.056	-2.905	-2.678
2012	-2.781	0.059	-2.903	-2.660

FIGURES

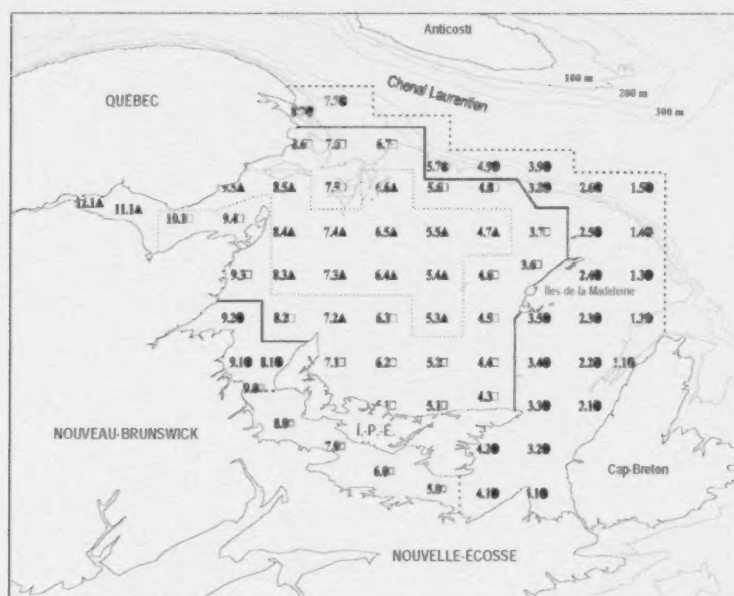


Figure 1. Carte des stations et des strates d'abondance des relevés PMZA-maquereau bleu (*Scomber scombrus* L.) réalisés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012. Les stations échantillonnées dans le détroit de Northumberland à la demande de l'industrie entre 2006 et 2009 sont indiquées par le symbole □. Les abondances mesurées à ces stations n'ont pas été utilisées dans la présente étude.

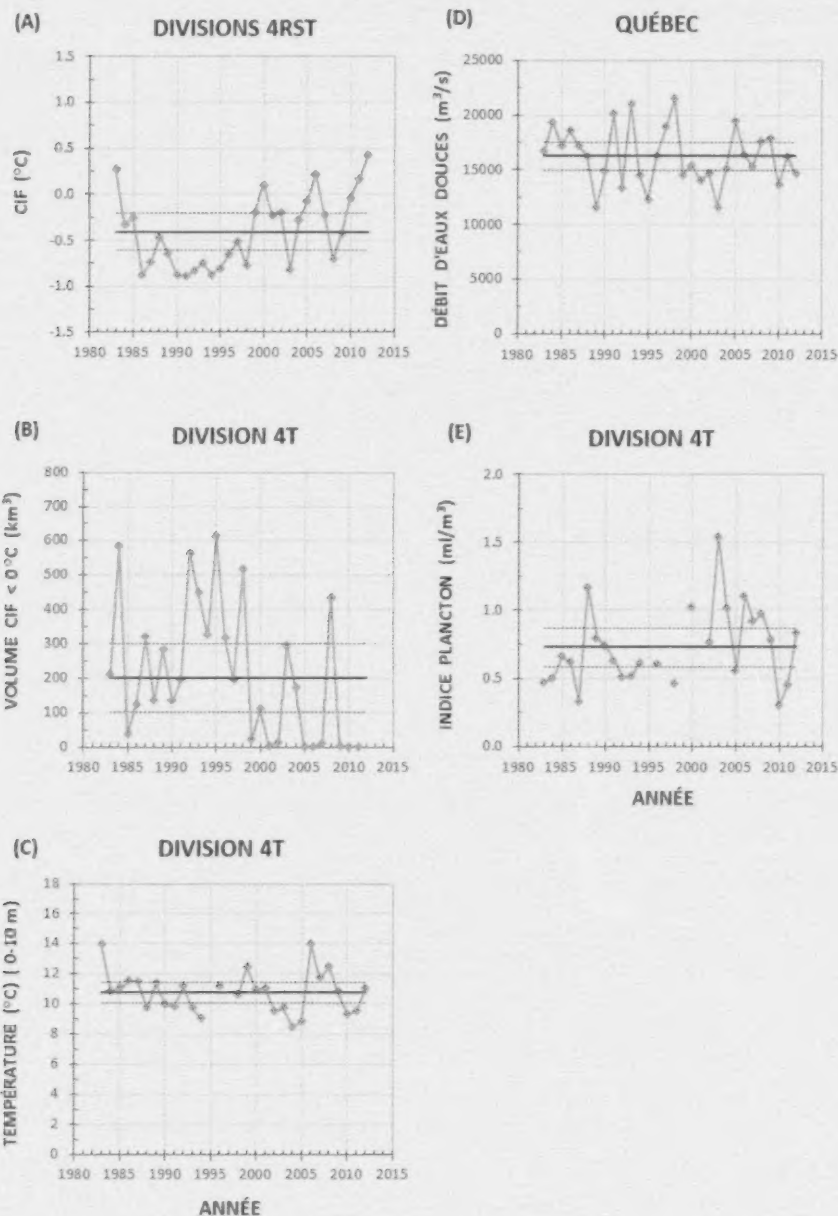


Figure 2. Variables explicatives utilisées dans les modèles d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqués sur l'abondance (n/m^2) des œufs et des larves de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 : (A) température ($^{\circ}\text{C}$) de la couche intermédiaire froide (CIF), (B) volume d'eau (km^3) de la CIF de moins de 0°C , (C) température moyenne ($^{\circ}\text{C}$) des 10 premiers mètres mesurée lors des relevés, (D) débit (m^3/s) d'eau douce mesuré en avril à la ville de Québec et (E) indice d'abondance (ml/m^3) du plancton mesuré lors des relevés. Ces séries temporelles ont été normalisées avant de procéder à leur analyse. Les lignes pleines horizontales représentent les moyennes de la période 1983–2012 et les lignes pointillées les moyennes $\pm 0,5 \times$ écarts-types.

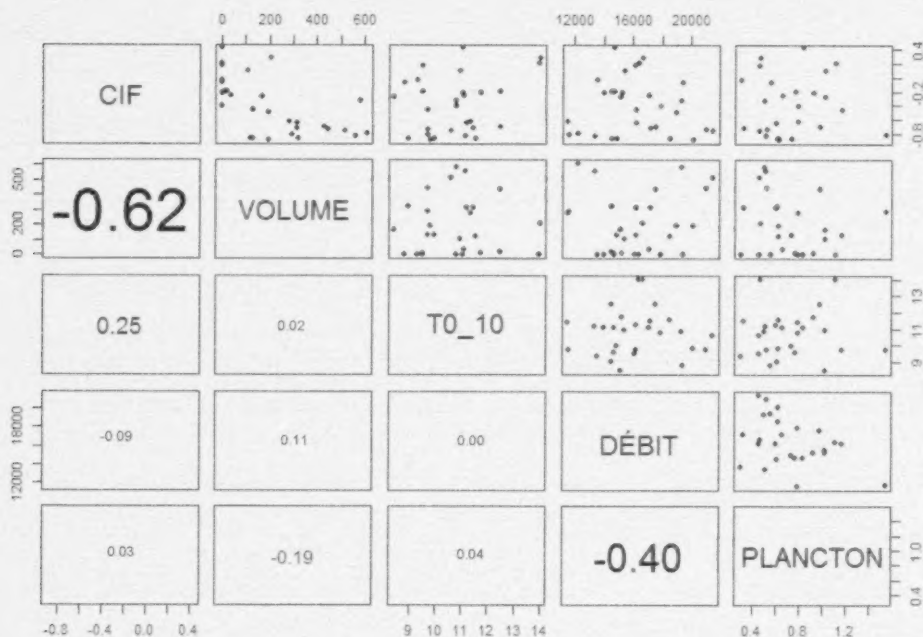


Figure 3. Relations entre les variables explicatives : température (°C) de la couche intermédiaire froide (CIF), volume d'eau (km³) de la CIF de moins de 0 °C (VOLUME), température moyenne (°C) des 10 premiers mètres mesurée lors des relevés (T0_10), débit (m³/s) d'eau douce mesuré en avril à la ville de Québec (DÉBIT) et indice d'abondance (ml/m³) du plancton (PLANCTON) mesuré lors des relevés. Les panneaux de la diagonale contiennent les acronymes des variables explicatives. Les panneaux de la section inférieure à cette diagonale représentent les corrélations dont la taille est proportionnelle à la valeur absolue et ceux de la section supérieure les diagrammes de dispersion.

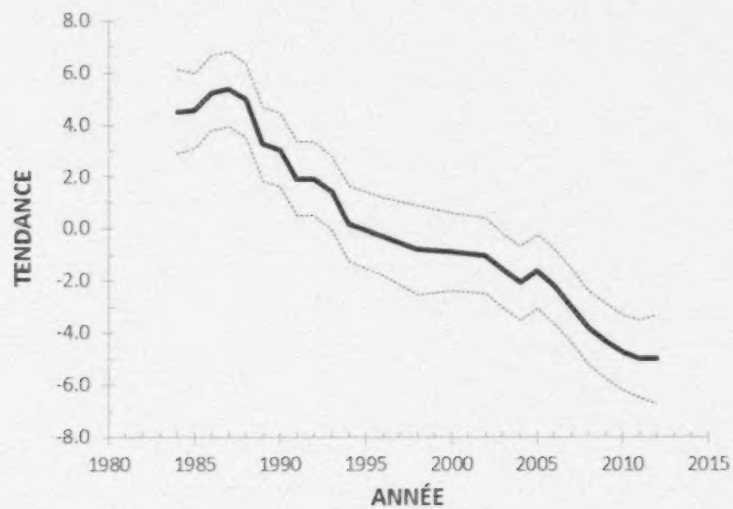


Figure 4. Tendence commune (avec intervalles de confiance à 95 %) obtenue par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012.

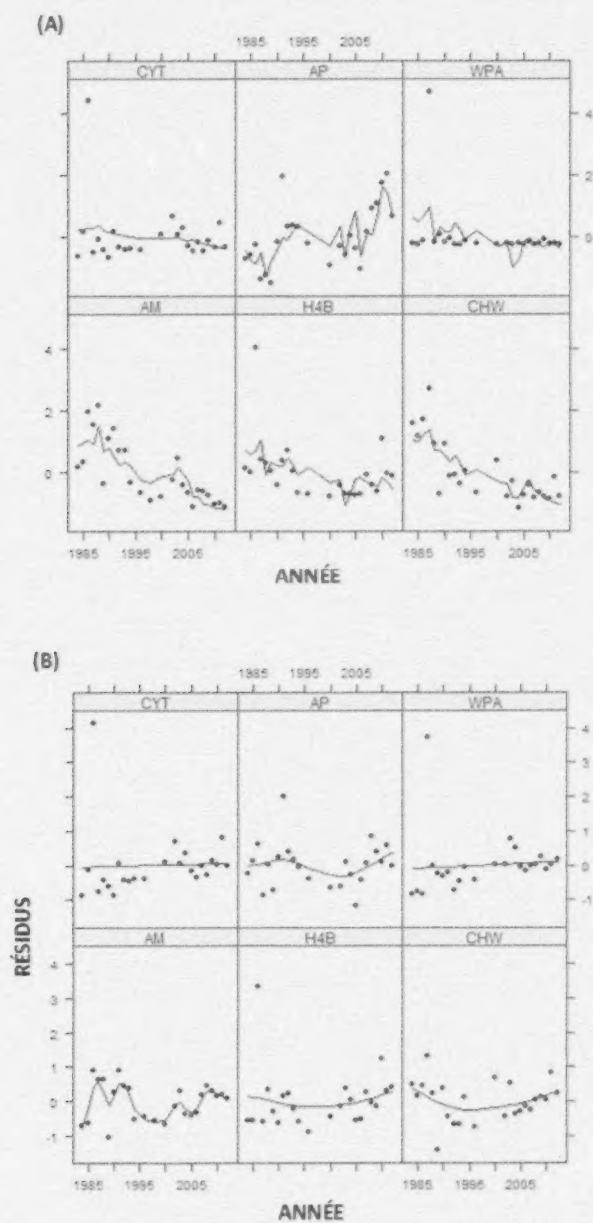


Figure 5. Valeurs observées et ajustées (A) et résidus (B) du modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012 (voir Tableau 1 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces).

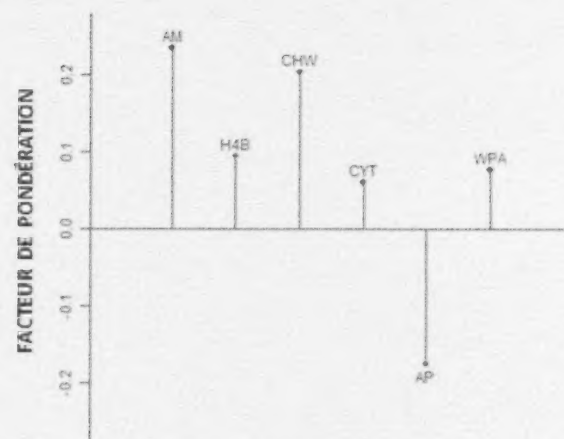


Figure 6. Facteur de pondération du modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012 (voir Tableau 1 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces).

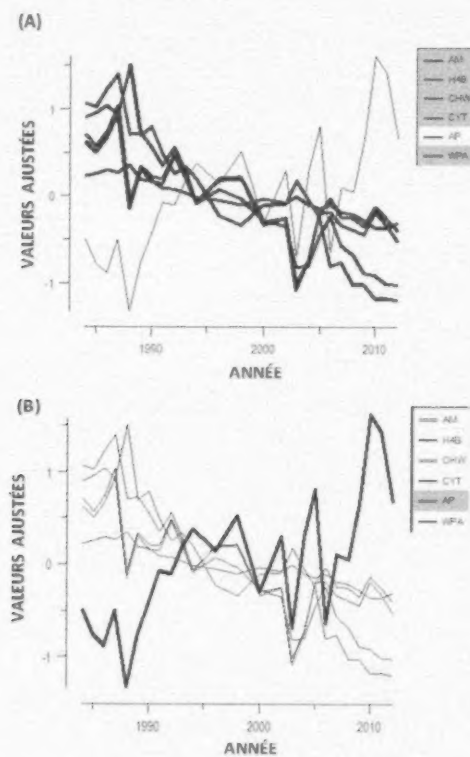


Figure 7. Valeurs ajustées des tendances produites par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012 (voir Tableau 1 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces). Les tendances ayant des facteurs de pondération positifs par rapport à la tendance commune sont présentées en A et celle ayant un facteur négatif en B.

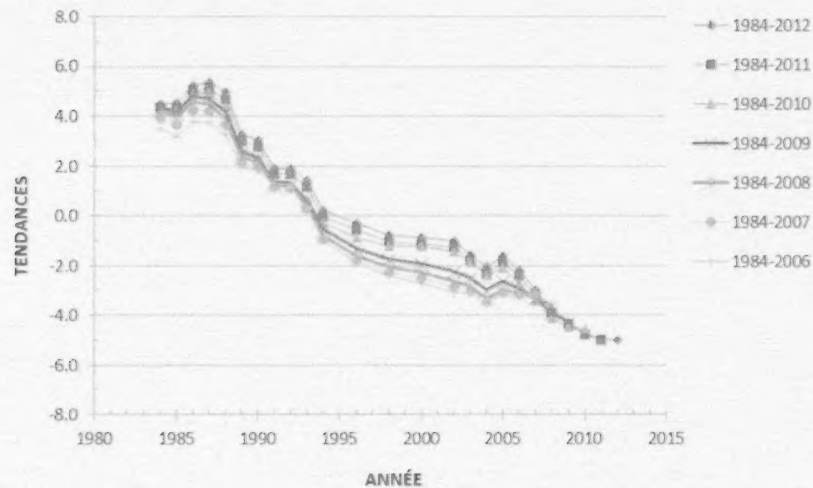


Figure 8. Analyse rétrospective des tendances communes produites par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des œufs de poissons récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1984 et 2012. Les variables explicatives sélectionnées sont la température ($^{\circ}\text{C}$) moyenne des 10 premiers mètres et l'abondance du plancton (ml/m^3).

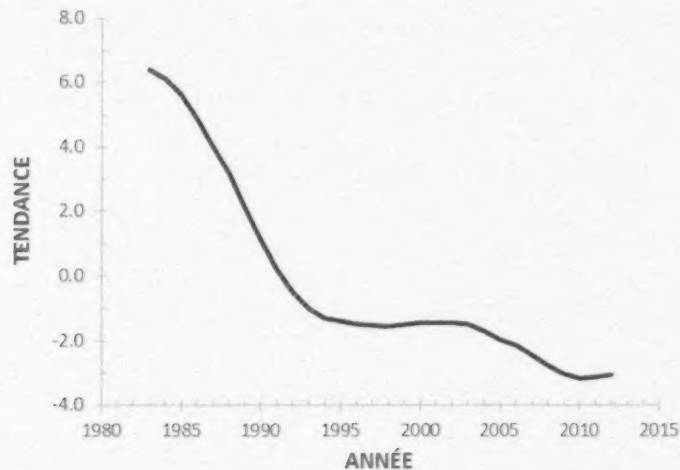


Figure 9. Tendance commune (les valeurs des intervalles de confiance à 95 % se situent très près de celles de la tendance, donc peu visibles) obtenue par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012.

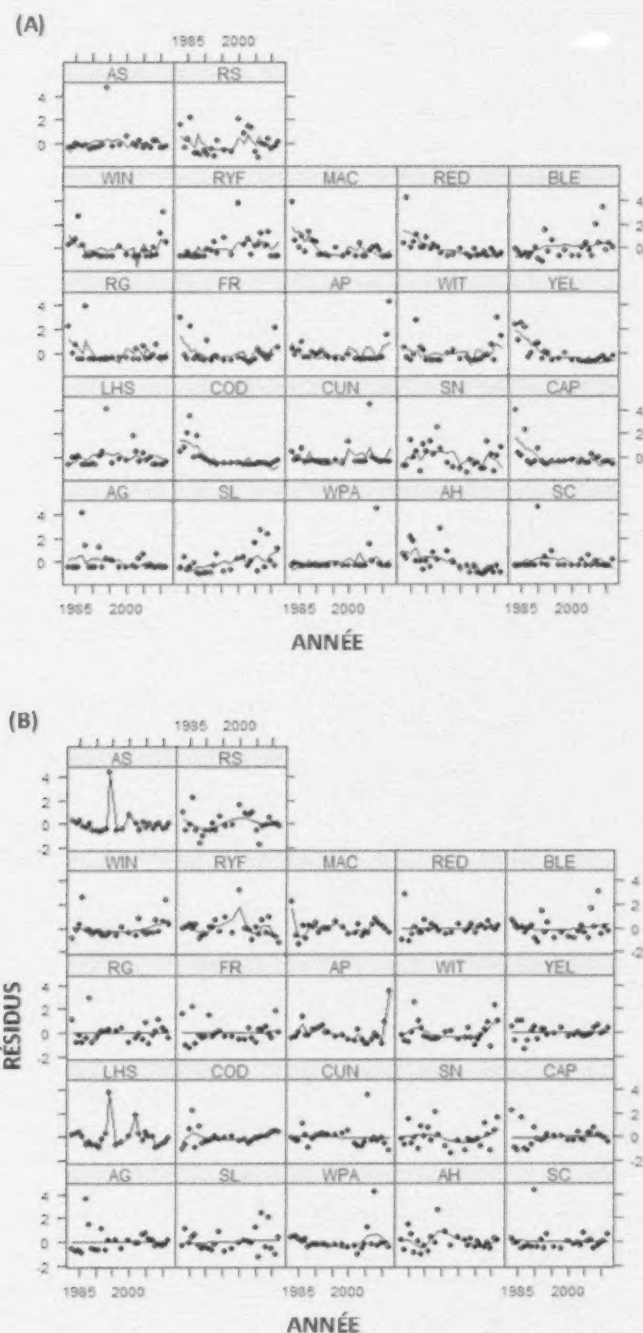


Figure 10. Valeurs observées et ajustées (A) et résidus (B) du modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 (voir Tableau 2 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces).

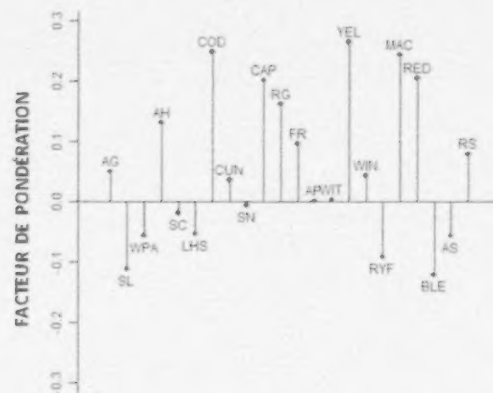


Figure 11. Facteur de pondération du modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 (voir Tableau 2 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces).

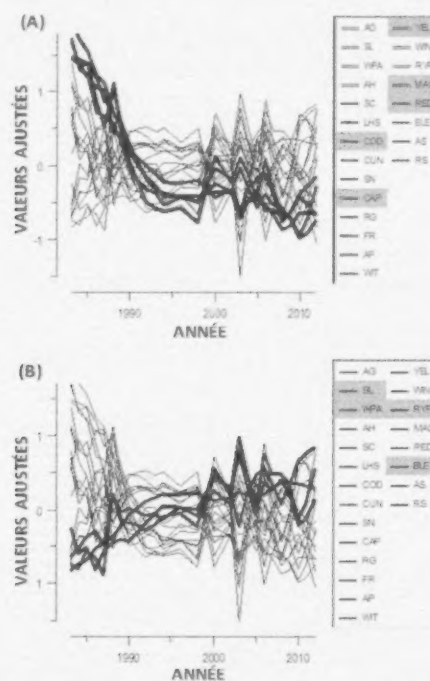


Figure 12. Valeurs ajustées des tendances produites par le modèle final d'analyse factorielle dynamique (AFD) appliqué sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012 (voir Tableau 2 pour le code des espèces ou des groupes d'espèces). Les tendances ayant des facteurs de pondération positifs (valeurs plus élevées) par rapport à la tendance commune sont présentées en A et celles ayant des facteurs négatifs (valeurs absolues plus élevées) en B.

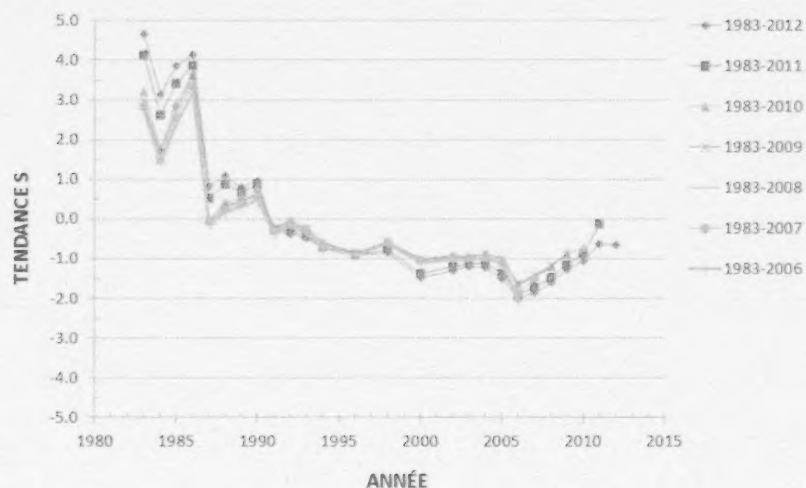


Figure 13. Analyse rétrospective des tendances communes produites par le modèle d'analyse factorielle dynamique (AFD) (matrice diagonale de covariance des erreurs; voir texte) appliquée sur l'abondance des larves de poissons récoltées dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2012. La variable explicative sélectionnée est la température ($^{\circ}\text{C}$) moyenne des 10 premiers mètres.